



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 23 725 A 1**

⑤1 Int. Cl. 7:  
**G 03 F 7/20**  
G 02 B 5/30

⑲ Aktenzeichen: 101 23 725.1  
⑳ Anmeldetag: 15. 5. 2001  
㉑ Offenlegungstag: 21. 11. 2002

DE 101 23 725 A 1

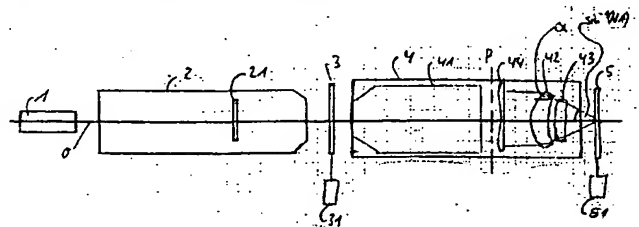
⑦1 Anmelder:  
Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE

⑦2 Erfinder:  
Wagner, Christian, Dr., 73430 Aalen, DE; Brunotte,  
Martin, Dr., 73431 Aalen, DE; Kaiser, Winfried,  
73431 Aalen, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie, Optisches System und Herstellverfahren

⑤7 Bei einer Projektionsbelichtungsanlage, besonderes mit 157 oder 193 nm und bildseitiger NA von 0,8 bis 0,95, mit Fluorid-Kristall-Linsen (42, 43) wird deren winkelhängige Doppelbrechung durch Relativdrehung um die optische Achse (O) und/oder durch ein Korrekturelement (44) nahe einer Pupillenebene (P) in ihrem störenden Effekt vermindert.



DE 101 23 725 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft eine Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Derartige Projektionsbelichtungsanlagen sind bekannt, z. B. aus der nicht vorveröffentlichten DE 100 10 131.3 vom 03.03.00 (US ser. No. 09/797,961 vom 05.03.01). Dort ist (vgl. Anspruch 8) der Ausgleich von Störeinflüssen optischer Komponenten auf die Polarisationsverteilung durch Vorhalt an anderen Komponenten vorgesehen, allerdings bezogen auf die polarisationsselektive Reflektion und auf Spannungsdoppelbrechung.

[0003] Die Patentanmeldung PCT/EP 00/13184 zeigt für derartige Projektionsbelichtungsanlagen geeignete rein refraktive und katadioptrische Projektionsobjektive mit numerischen Aperturen von 0,8 und 0,9, bei einer Betriebswellenlänge bei 157 nm.

[0004] Aus der DE 198 07 120 A (US ser. No. 09/252,636) ist der Einsatz von lokal in der Dicke variierenden doppelbrechenden Elementen zum Ausgleich von über ein Lichtbündel variierenden Polarisierungseffekten bekannt.

[0005] Die US 6,201,634 B beschreibt, daß für diesen Einsatz geeignete technische Fluoridkristalle Spannungsdoppelbrechung aufweisen, die bezogen auf die Kristallachsen Richtungsabhängigkeit zeigt.

[0006] Aus der Internet-Publikation "Preliminary Determination of an Intrinsic Birefringence in CaF<sub>2</sub>" von John H. Burnett, Eric L. Shirley, und Zachary H. Levine, NIST Gaithersburg MD 20899 USA (verbreitet am 07.05.01) ist bekannt, daß Kalziumfluorid-Einkristalle außer spannungsinduzierter auch intrinsische Doppelbrechung aufweisen.

[0007] Alle zitierten Schriften sollen in vollem Umfang auch Teil der Offenbarung dieser Anmeldung sein. Das gleiche gilt für die gleichzeitig eingereichte Patentanmeldung der gleichen Erfinder mit dem Titel "Optisches Element, Projektionsobjektiv und mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage mit Fluorid-Kristalllinsen", deren Maßnahmen auch in Kombination mit der vorliegenden Erfindung vorteilhaft sind.

[0008] Erheblich sind diese Doppelbrechungseffekte erst bei den niedrigen Wellenlängen unterhalb etwa 200 nm, also insbesondere bei 193 nm und verstärkt bei 157 nm, den für die hochauflösende Mikrolithographie bevorzugten Wellenlängen.

[0009] Da diese Doppelbrechung von der Lichtstrahlrichtung bezogen auf die Kristallachsen abhängig ist, ergibt sich eine Variation als Funktion sowohl des Öffnungswinkels wie auch des Drehwinkels (Azimutwinkels) um die optische Achse.

[0010] Für ein optisches Element, insbesondere eine Linse (die auch als Planplatte, z. B. Abschlußplatte, Filter, ausgebildet sein kann), das rotationssymmetrisch um die (111) Kristallachse orientiert ist, ist die Doppelbrechung bei senkrechtem Durchtritt eines Lichtstrahls minimal. Unter einem Öffnungswinkel von ca. 35° und unter drei gegeneinander um 120° verdrehten Drehwinkeln (Azimutwinkeln) ist die Einfallrichtung jedoch äquivalent der (110) Orientierung des Kristalls, und es tritt maximale Doppelbrechung auf.

[0011] Bei einer Anordnung rotationssymmetrisch zu einer der (100), (010), oder (001) Achsen, liegen unter einem Öffnungswinkel von 45° in jetzt vierzähliger Rotationssymmetrie wieder die (110) äquivalenten Achsen mit maximaler Doppelbrechung. Dies wird in obengenannter gleichzeitiger Patentanmeldung der gleichen Erfinder näher beschrieben.

[0012] Nun ist bei einem Element aus CaF<sub>2</sub>, aus dem ein 157 nm Lichtstrahl mit der numerischen Apertur 0,8 austritt, der Öffnungswinkel im Durchtritt mit dem Brechungsindex

von ca. 1,56 gleich 31°; für NA = 0,9 ergibt sich ein Winkel von etwa 35°. Die richtungsabhängige Doppelbrechung ist also bei so hoch geöffneten Systemen ein Problem.

[0013] Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Kompensation dieser Störung durch richtungsabhängige Doppelbrechung anzugeben, mit der auch höchstaperturige Projektionsobjektive optimal betrieben werden können.

[0014] Gelöst wird diese Aufgabe durch eine Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 1, sowie durch ein optisches System nach Anspruch 9 oder 12 und durch Herstellungsverfahren nach Anspruch 15 bzw. 17.

[0015] Die Erfindung geht aus von der Erkenntnis, daß zum einen die Störung durch die Doppelbrechung bei dem Wert von ca. 6 nm pro cm bei einem in Frage kommenden Lichtweg in Linsen bei den hohen Winkeln von rund 10 cm überwiegend eine Phasenverschiebung von bis zu etwa Lambdaviertel für zwei zueinander senkrecht polarisierte Strahlen darstellt, daß weiter die hohen Strahlwinkel in bildnahen (feldnahen) Elementen auftreten, deren Strahl-Winkel-Verteilungen in einer dazu fouriertransformierten Pupillenebene als Orts-Verteilungen vorliegen.

[0016] Damit kann überraschend die Störung durch ein ortsabhängig phasenschiebendes bzw. polarisationsdrehendes Element nahe einer Pupillenebene korrigiert werden. Solche Elemente und ihre Herstellung durch lokales Polieren, insbesondere durch Ionenstrahlpolieren, sind wie oben angegeben aber bekannt und auch in diesem neuen Zusammenhang verfügbar.

[0017] Die Lage "nahe" einer Pupillenebene, vorzugsweise der Systemaperturebene, ist eine praktische Annäherung an die Lage, bei der hinreichend gut die örtliche Verteilung von Polarisation und Phase am Korrektorelement in ihre Winkelverteilung am winkelabhängig doppelbrechenden Element transformiert wird. Dies ist insbesondere mit dem optischen Design des Projektionsobjektivs abzustimmen.

[0018] Neben diesem Ansatz der Ansprüche 1 und 9 ist es auch allein oder in Kombination damit (Ansprüche 13, 14) möglich, die Doppelbrechungseffekte mehrerer derartiger Elemente dadurch zu mindern, daß sie nach Anspruch 12 verdreht gegeneinander eingebaut werden.

[0019] Zwar ist es gängige Praxis, bei der Montage und Justage optischer Systeme exemplarspezifische Störungen gefäster Elemente durch Verdrehen gegeneinander zu kompensieren. Hier wird aber die durch die winkelabhängige Doppelbrechung aufgehobene Rotationssymmetrie durch eine vom optischen Design vorzugebende Relativdrehung berücksichtigt und die Störung vermindert.

[0020] Im Beispiel zweier gleich dicker, unter gleichen Winkeln durchlaufener Kalziumfluorid-Elemente in (111)-Orientierung wird man beide um 60° gegeneinander verdrehen, so daß gerade Maxima und Minima der jeweiligen Doppelbrechung überlagert werden, was den Effekt etwa halbiert. Eine zugehörige Korrekturplatte weist dann sechszählige Rotationssymmetrie auf.

[0021] Da sowohl die Störung als auch die erforderliche Formveränderung am Korrektorelement gering sind, ist es möglich, bei der Herstellung eines Projektionsobjektivs dieses zunächst vollständig aufzubauen und zu justieren und es dann gemäß Anspruch 15 zu vermessen und nachzubearbeiten. Intrinsische und exemplarspezifische Spannungsdoppelbrechung können dann zugleich kompensiert werden.

[0022] Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0023] Die Ausführung nach Anspruch 8 sieht dabei im Projektionsobjektiv eine Umwandlung von radialer zu tangentialer Polarisation mit einem optisch aktiven Element vor, die in der gleichzeitig eingereichten Patentanmeldung

"Optisches Abbildungssystem mit Polarisationsmitteln und Quarzkristallplatte hierfür", Erfinder Dr. Michael Gerhard, ausführlich erläutert ist. Diese Anmeldung ist in vollem Umfang auch Teil dieser Anmeldung.

[0024] Näher erläutert wird die Erfindung anhand der Zeichnung.

[0025] Fig. 1 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Projektionsbelichtungsanlage.

[0026] Bezogen auf eine optische Achse O angeordnet zeigt Fig. 1 eine Lichtquelle 1, die vorzugsweise ein bei 157 nm oder 193 nm schmalbandig emittierender Laser ist. Deren Licht wird einem Beleuchtungssystem 2 zugeführt, das als Besonderheit Mittel 21 zur Erzeugung radialer Polarisation enthalten kann, wie sie aus DE 195 35 392 A1 und obengenannter Patentanmeldung des Erfinders Gerhard bekannt sind. Damit wird ein mikrolithographisches Retikel 3 beleuchtet, das mit einem Retikel-Halte- und Positioniersystem 31 verbunden ist. Das folgende Projektionsobjektiv 4 bildet das Retikel auf das in der Bildebene angeordnete Objekt 5 – typisch den Wafer – ab.

[0027] Das Objekt 5 ist mit einem Objekt-Halte- und Positioniersystem versehen.

[0028] Das Objektiv 4 umfaßt eine Gruppe 41 mit Linsen und bedarfsweise auch einem oder mehreren Spiegeln, eine Pupillenebene bzw. Systemaperturebene P und zwischen dieser Ebene P und der Ebene des Objekts 5 Linsen 42, 43, deren Durchtrittswinkel  $\alpha$  durch die Bildseitige Numerische Apertur NA des Projektionsobjektivs geprägt ist.

[0029] Mindestens eine der Linsen 42, 43 besteht aus einem Material mit winkelabhängiger Doppelbrechung, beispielsweise Kalziumfluorid dessen (111) Orientierung mit der optischen Achse O zusammenfällt oder bis zu ca. 5° abweicht.

[0030] Sind beide gezeigten Linsen 42, 43 (natürlich sind in diesem Bereich überwiegend noch mehr Linsen erforderlich) derartig, so werden sie vorzugsweise um den Azimutwinkel, also um die optische Achse O verdreht gegeneinander eingebaut.

[0031] Für jeden Lichtstrahl ist ein an einer der feldnahen Linsen 42, 43 auftretender Öffnungswinkel in der Nähe der Pupillenebene P zu einem Abstand von der optischen Achse O transformiert. Das dort erfindungsgemäß angeordnete Korrektorelement 44 aus doppelbrechendem oder optisch aktivem Material kann deshalb mit einer vom Abstand zur optischen Achse O und mit dem Azimutwinkel variierenden Dicke und damit Phasenschiebung bzw. Polarisationsdrehung die winkelabhängige Doppelbrechung der Linsen 42, 43 kompensieren.

[0032] Die Mittel 21 und das Korrektorelement 44 können im Sinne der zitierten Patentanmeldung des Erfinders Gerhard ausgeführt sein und so radiale Polarisation am Objekt 5 erzeugen, wobei im Sinne der Erfindung das Korrektorelement 44 zugleich die winkelabhängige Doppelbrechung kompensiert.

[0033] Hat das Projektionsobjektiv 4 weitere Pupillenebenen, was zum Beispiel bei Ausführungen mit Zwischenbild der Fall ist, so kann ein Korrektorelement auch dort angeordnet sein.

[0034] Sind die refraktiven Wirkungen des Dickenverlaufs des Korrektorelements 44 störend, so kann mit aus der DE 198 07 120 A bekannten Kompensationsplatten aus nicht oder wenig doppelbrechendem Material ausgeglichen werden. Dazu können auch Linsenoberflächen z. B. durch Ionenstrahlätzen nachgeformt werden.

[0035] Der beschriebene Effekt der winkelabhängigen Doppelbrechung der Fluorid-Kristalle kann im optischen Design hochaperturiger Projektionsobjektive berücksichtigt werden. Dazu muß die Variation über den Azimutwinkel be-

rücksichtigt werden. Das Korrektorelement 44 kann dann vom Design in seiner Form vorgegeben werden.

[0036] Alternativ oder ergänzend kann aber auch die Störung der Abbildung durch die winkelabhängige Doppelbrechung gemessen und in eine Nachbearbeitung des bereitgestellten Korrektorelements 44 umgesetzt werden. Damit kann dann zugleich eine exemplarspezifische Doppelbrechungsverteilung korrigiert werden.

[0037] Die beschriebenen und zitierten und beanspruchten Maßnahmen können in unterschiedlichster Weise kombiniert werden, auch wenn dies nicht im einzelnen beschrieben ist.

#### Patentansprüche

1. Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie mit einer Lichtquelle (1), insbesondere mit einer Wellenlänge im Bereich von 200-100 nm einem Beleuchtungssystem (2), einem Masken-Positionier-System (31), einem Projektionsobjektiv (4), vorzugsweise mit einer bildseitigen numerischen Apertur (NA) im Bereich von 0,7 bis 0,95, mit einer Systemaperturebene (P) und mit einer Bildebene (5), enthaltend mindestens eine Linse (42, 43) aus einem Material, das vom Durchtrittswinkel ( $\alpha$ ) abhängige Doppelbrechung aufweist, insbesondere nahe der Bildebene (5) angeordnet, einem Objekt-Positionier-System (51), **dadurch gekennzeichnet**, daß im Beleuchtungssystem (2) oder im Projektionsobjektiv (4) nahe einer Pupillenebene (P) ein optisches Element (44) vorgesehen ist, daß eine ortsabhängige polarisationsdrehende bzw. phasenschiebende Wirkung aufweist und die von der mindestens einen Linse (42, 43) erzeugten Doppelbrechungseffekte in der Bildebene (5) mindestens teilweise kompensiert.
2. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Material der mindestens einen Linse ein kubischer Fluoridkristall, insbesondere  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{BaF}_2$  oder  $\text{SrF}_2$  ist.
3. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die vom Durchtrittswinkel abhängige Doppelbrechung und die ortsabhängige polarisationsdrehende bzw. phasenschiebende Wirkung die gleiche mehrzählige, insbesondere drei- oder vierzählige Rotationssymmetrie aufweisen.
4. Projektionsbelichtungsanlage nach mindestens einem der Ansprüche 1–3, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens eine Linse aus besagtem Material, das eine vom Durchtrittswinkel abhängige Doppelbrechung aufweist, zwischen der Systemaperturebene und der Bildebene angeordnet ist, insbesondere als bildseitig letzte Linse.
5. Projektionsbelichtungsanlage nach mindestens einem der Ansprüche 1–4, dadurch gekennzeichnet, daß das Element mit ortsabhängiger phasenschiebender Wirkung nahe der Systemaperturebene des Projektionsobjektivs angeordnet ist.
6. Projektionsbelichtungsanlage nach mindestens einem der Ansprüche 1–5, dadurch gekennzeichnet, daß das Element mit ortsabhängiger phasenschiebender Wirkung ein optisch aktives Element, insbesondere aus Quarz, oder ein doppelbrechendes Element mit örtlich variierender Dicke ist.
7. Projektionsbelichtungsanlage nach mindestens einem der Ansprüche 1–6, dadurch gekennzeichnet, daß

in der Bildebene tangential oder radiale Polarisation vorliegt.

8. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 6 und Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß im Beleuchtungssystem oder im objektseitigen Teil des Projektionsobjektivs radiale Polarisation erzeugt wird und daß nahe der Systemaperturebene ein optisch aktives Element, insbesondere aus Quarz, angeordnet ist, das eine Polarisationsdrehung zur tangentialen Polarisation mit überlagerter Kompensation der von der mindestens einen Linse erzeugten Doppelbrechungseffekte bewirkt, durch geeignete örtliche Dickenverteilung.

9. Optisches System, insbesondere mikrolithographisches Projektionsobjektiv, mit mindestens einem ersten optischen Element, das eine polarisationsabhängige Störung der Propagation über die Winkel der Lichtstrahlen eines durchtretenden Lichtbündels bewirkt,

dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein zweites optisches Element vorgesehen ist, das eine vom Ort der Lichtstrahlen des Lichtbündels am zweiten optischen Element abhängigen Einfluß auf die Polarisation bewirkt, derart, daß die Störung durch das erste optische Element zumindest teilweise kompensiert wird.

10. Optisches System nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß es mindestens eine Feldebene und mindestens eine dazu fouriertransformierte Pupillenebene aufweist, und das erste optische Element nahe besagter Feldebene und das zweite optische Element nahe einer besagten Pupillenebene angeordnet ist.

11. Optisches System nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Störung der Propagation und der Einfluß auf die Polarisation die gleiche mehrzählige, insbesondere drei- oder vierzählige Rotationssymmetrie aufweisen.

12. Optisches System, insbesondere mikrolithographisches Projektionsobjektiv, mit mindestens einem ersten und einem zweiten optischen Element, die beide eine polarisationsabhängige Störung der Propagation über die Winkel der Lichtstrahlen eines durchtretenden Lichtbündels bewirken, dadurch gekennzeichnet, daß das erste und das zweite optische Element derart um eine gemeinsame Symmetrieachse gegeneinander verdreht sind, daß die Drehwinkelbereiche maximaler Doppelbrechung des ersten und des zweiten Elements gegeneinander versetzt sind.

13. Optisches System nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich die Merkmale mindestens eines der Ansprüche 9–11 erfüllt sind.

14. Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie enthaltend ein optisches System nach mindestens einem der Ansprüche 9–13.

15. Herstellverfahren eines Mikrolithographie-Projektionsobjektivs, bei dem das Objektiv komplett montiert wird und die Wellenfront in der Bildebene vermessen wird, dadurch gekennzeichnet, daß eine mehrzählige, insbesondere drei- oder vierzählige rotationssymmetrische Störung ausgewertet wird und davon abhängig das Dickenprofil eines optischen Elements, das insbesondere pupillennah angeordnet ist, mit der gleichen mehrzähligen Rotationssymmetrie verändert wird, so daß die mehrzählige rotationssymmetrische Störung der Wellenfront in der Bildebene zumindest teilweise kompensiert wird.

16. Herstellverfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Mikrolithographie-Projektionsobjektiv ein optisches System nach mindestens einem der Ansprüche 9–13 und/oder Teil einer Projektionsbelichtungsanlage nach mindestens einem der Ansprüche 1–8 und 14 ist.

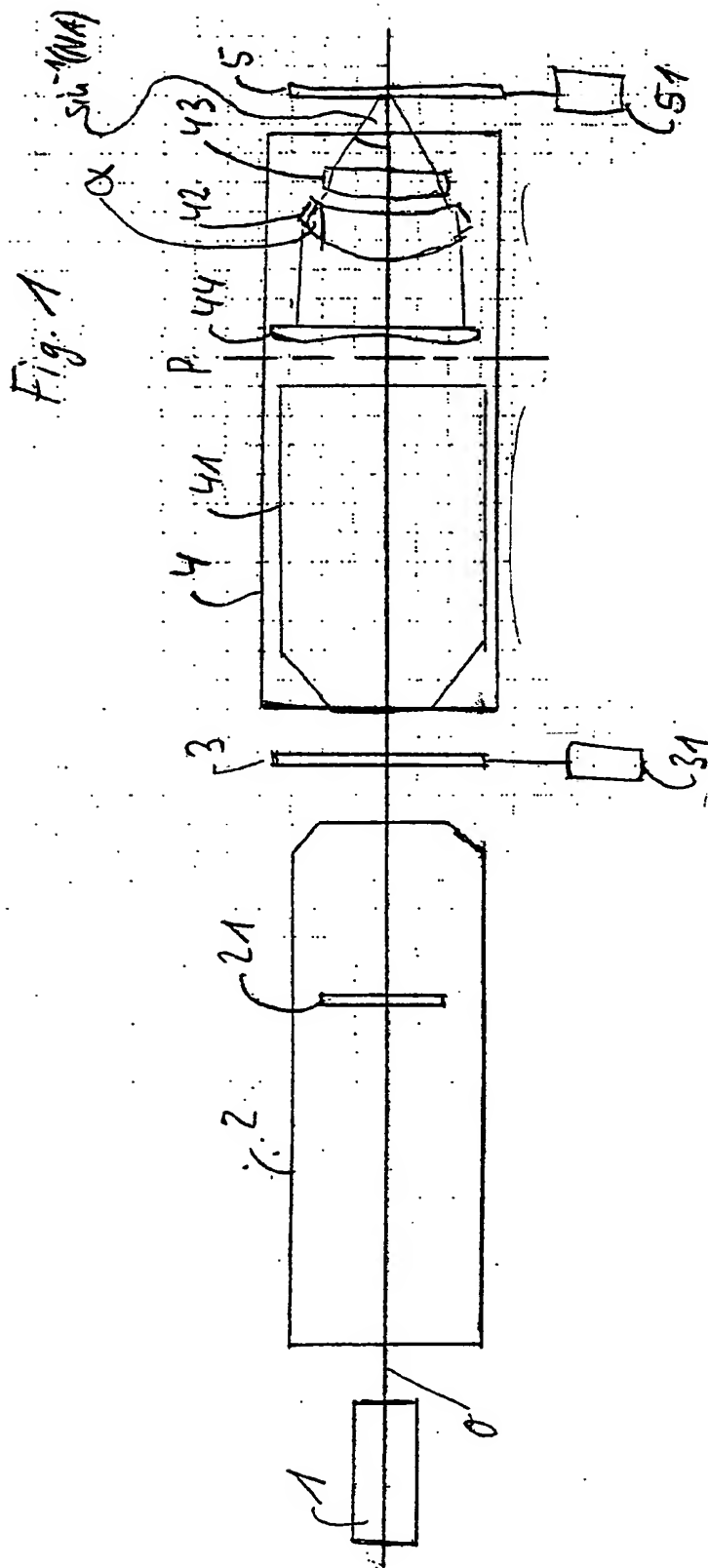
17. Mikrolithographisches Strukturierverfahren, gekennzeichnet durch die Verwendung einer Projektionsbelichtungsanlage nach mindestens einem der Ansprüche 1–8 und 14 oder enthaltend ein optisches System nach mindestens einem der Ansprüche 9–13 oder hergestellt nach Anspruch 15 oder 16.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -



19 FEDERAL REPUBLIC  
OF GERMANY

GERMAN  
PATENT AND  
TRADEMARK OFFICE

12 OLS  
10 **DE 101 23 725 A1**

21 File number: 101 23 725.1  
22 Application date: 5/15/01  
43 Disclosure date: 11/21/02

51 Int. Cl<sup>7</sup>:  
G 03 F 7/20  
G 02 B 5/30

DE 101 23 725 A1

71 Applicant:  
Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE [Germany]

72 Inventor:  
Wagner, Christian, Dr., 73430 Aalen, DE [Germany];  
Brunotte, Martin, Dr., 73431 Aalen, DE [Germany];  
Kaiser, Winfried, 73431 Aalen, DE [Germany]

The following data was taken from documents submitted by the applicant

- 54 Projection exposure system for microlithography, optical system and manufacturing method
- 57 In a projection exposure system, especially with 157 or 193 nm and NA on both sides of 0.8 to 0.95, with fluoride-crystal lenses (42, 43), the interfering effect of their angle-dependent double refraction is reduced by relative rotation around the optical axis (O) and/or by a correction element (44) near a pupil plane (P). [see source for diagram]

DE 101 23 725 A1

## Description

[0001] The invention relates to a projection exposure system for microlithography according to the preamble of claim 1.

[0002] Projection exposure systems of this type are known, e.g. from DE 100 10 131.3 dated 3/3/00 that did not have prior publication (US ser. no. 09/797,961 dated 3/05/01). There the compensation (see claim 8) of interfering influences of optical components on the polarization distribution is provided by derivative action of other components, however, related to the polarization-selective reflection and birefringence.

[0003] The patent application PCT/EP 00/13184 exhibits suitable purely reactive and catadioptric projection lenses with numerical apertures of 0.8 and 0.9 at an operating wave length at 157 nm for this type of projection exposure.

[0004] From DE 198 07 120 A (US ser. no. 09/252,636), the use of double-refracting elements with varying thickness for compensation of polarization effects that vary over a beam of light are known.

[0005] US 6,201,634 B describes the fact that technical fluoride crystals suitable for this use have birefringence that exhibits directional dependency on the crystal axes.

[0006] From the Internet publication "Primary Determination of an Intrinsic Birefringence in CaF<sub>2</sub>" by John H. Burnett, Eric L. Shirley and Zachary H. Levine, NIST, Gaithersburg MD 20899 USA (distributed on 5/7/01, it is known that calcium fluoride single crystals have intrinsic double refraction in addition to that which is strain-induced.

[0007] All the documents cited, in their full scope, will also become a part of the disclosure of this application. The same is true of the simultaneously submitted patent application by the same inventor, entitled "Optical Element, Projection Lens and Microlithography Projection Exposure system with Fluoride Crystal Lenses," that has measures that are also advantageous in combination with the present invention.

[0008] These double refraction effects first become considerable at the low wave lengths below about 200 nm, i.e. especially at 193 nm

and increasingly at 157 nm, the wave lengths preferred for high-resolution microlithography.

[0009] Since this double refraction depends on the light beam direction, related to the crystal axes, a variation results as a function of both the opening angle and also the angle of rotation (azimuth angle) around the optical axis.

[0010] For an optical element, especially a lens which can be designed as a flat plate (e.g. cover plate, filter) that is oriented with rotation symmetry around the (111) crystal axis, the double refraction is minimal when a light beam passes through vertically. At an opening angle of approx. 35° and with three angles of rotation (azimuth angles) turned 120° to each other, however, the direction of incidence is equivalent to the (110) orientation of the crystal and maximum double refraction occurs.

[0011] With a rotation-symmetrical arrangement to one of the (100), (010) or (001) axes, with an opening angle of 45°, now with quadruple rotation symmetry, the (110) equivalent axes again have maximum double refraction. This is described in more detail in the above-mentioned simultaneous patent application by the same inventor.

[0012] Now, with an element of CaF<sub>2</sub>, from which a 157 nm light beam escapes with the numerical aperture 0.8, the opening angle in the crossover is equal to 31° with the refraction index of approx. 1.56; for NA = 0.9, an angle of about 35° results. The direction-dependent double refraction is thus a problem with systems that are opened this much.

[0013] The object of the invention is thus to produce a compensation of this interference due to direction-dependent double refraction, with which projection lenses with the greatest aperture openings can be operated optimally.

[0014] This task is solved by a projection exposure system according to claim 1, as well as by an optical system according to claim 9 or 12 and by manufacturing methods according to claims 15 and/or 17.

[0015] The invention is based on the knowledge that, for one thing, an interference due to double refraction with the value of approx. 6 nm per cm in a light path under consideration in lenses mainly represents a phase offset of up to say, a quarter wave for two beams that are polarized perpendicular to each other at high angle of around 10 cm, in addition that the high beam



angles occur in elements that are close to the image (near field) whose beam angle distributions are present as local distributions in a pupil plane to which a Fourier transform has been applied for this purpose.

[0016] In this way, the interference can surprisingly be corrected using a location-dependent phase-shifting and/or polarization-rotating element near a pupil plane. However, such elements and their manufacturing using local polishing, especially using ion beam polishing, are known, as mentioned above and also available in this new context.

[0017] The position "near" a pupil plane, preferably the system aperture plane, is a practical approximation to the position at which the angle distribution of the local distribution of polarization and phase of the correction element is transformed at the angle-dependent double-refracting element. This is especially to be coordinated with the optical design of the projection lens.

[0018] In addition to the use of claims 1 and 9, it is also possible alone or in combination with it (claims 13, 14) to decrease the double refraction effects of several elements of this type in that they are installed rotated with respect to each other according to claim 12.

[0019] In fact, it is common practice to compensate individually-determined interference of mounted elements by rotation with respect to each other in the assembly and calibration of optical systems. However, in this case the rotation symmetry that is compensated by the angle-dependent double refraction is taken into consideration by a preventive relative rotation of the optical design and the interference is decreased.

[0020] Using the example of two calcium fluoride elements of equal thickness, passing at the same angles in (111) orientation, both will be rotated by 60° with respect to each other since maximum and minimum of the respective double refraction will be superimposed, which approximately halves the effect. An associated correction plate then has sextuple rotation symmetry.

[0021] Since the interference and the required shape change on the correction element are slight, in the manufacturing of a projection lens it is possible to first build it up completely and calibrate it and then to measure it and rework it

according to claim 15. Intrinsic and individually-determined birefringence can then be compensated at the same time.

[0022] Advantageous embodiments are the object of the subclaims.

[0023] The version according to claim 8 provides for a conversion in a projection lens from radial to tangential polarization with an optically active element, which is explained in detail in the simultaneously submitted patent application "Optical Imaging System with Polarizing Means and Quartz Crystal Plate for it," invented by Dr. Michael Gerhard. This application is also part of this application, in its full scope.

[0024] The invention will be described in more detail using the drawing.

[0025] Fig. 1 shows a projection exposure system according to the invention schematically.

[0026] Arranged with relationship to an optical axis O, Fig. 1 shows a light source 1 that is preferably a narrow-band laser emitting at 157 nm or 193 nm. Its light is supplied to an illumination system 2, which can contain, as a special feature, means 21 for generating radial polarization, as they are known from DE 195 35 392 A1 and the above-mentioned patent application of the inventor, Gerhard. In this way, a microlithographic reticle 3 is illuminated, which is connected with a reticle holding and positioning system 31. The following projection lens 4 displays the reticle on the object 5 – typically the wafer – arranged in the image plane.

[0027] The object 5 is provided with an object holding and positioning system.

[0028] The lens 4 comprises a group 41 with lenses and, if necessary, also one or more mirrors, a pupil plane and/or system aperture plane P and, between this plane P and the plane of the object 5, lenses 42, 43, whose passage angle  $\alpha$  is characterized by the image-side numerical aperture NA of the projection lens.

[0029] At least one of the lenses 42, 43 consists of a material with angle-dependent double refraction, e.g. calcium fluoride whose (111) orientation coincides with the optical axis O or deviates by up to approx. 5°.

[0030] If both lenses shown 42, 43 (naturally more lenses are usually required in this area) are of this type, preferably they will be installed

rotated with respect to each other by the azimuth angle, i.e. around the optical axis O.

[0031] For each light beam, an opening angle that occurs at one of the near field lenses in the area of the pupil plane P is transformed to a distance from the optical axis O. The correction element 44 that is arranged there according to the invention, made of double-refractive or optically active material, can therefore compensate the angle-dependent double refraction of the lenses 42, 43 with a thickness that varies depending on the distance from the optical axis O and with the azimuth angle and thus phase shifting and/or polarization.

[0032] The means 21 and the correction element 44 can be designed in the sense of the cited patent application by the inventor, Gerhard, and thus generate radial polarization on the object 5, while in the sense of the invention the correction element 44 simultaneously compensates the angle-dependent double refraction.

[0033] If the projection lens 4 has other pupil planes, which is the case e.g. in designs with intermediate image, a correction element can also be arranged there.

[0034] If the refractive effects of the thickness curve of correction elements 44 cause interference, compensation can be obtained from the compensation plates known from DE 198 07 120 A made of material that is not, or is only slightly, double refracting. To do this, lens surfaces can also e.g. be formed using ion beam etching.

[0035] The effect described of the angle-dependent double refraction of the fluoride crystals can be taken into consideration in the optical design of projection lenses with large aperture angle. To do this, the variation over the azimuth angle must be considered. The shape of the correction element 44 can then be specified by the design.

[0036] Alternatively, or as a supplement, the interference of the image due to the angle-dependent double refraction can be measured and converted into a reworking of the prepared correction element 44. In this way, an individually-determined double refraction distribution can be corrected at the same time.

[0037] The described and referenced and claimed measures can be combined in any

different ways, even if this is not described in detail.

## Patent Claims

1. Projection exposure system for microlithography with a light source (1), especially with a wave length in the range from 200-100 nm an exposure system (2) a template positioning system (31), a projection lens (4), preferably with an image-side numerical aperture (NA) in the range of 0.7 to 0.95 with a system aperture plane (P) and with an image plane (5), containing at least one lens (42, 43) of a material that has double refraction depending on the passage angle ( $\alpha$ ), especially arranged close to the image plane (5), an object positioning system (51), **characterized in that** in the exposure system (2) or in the projection lens (4), close to a pupil plane (P), an optical element (44) is provided that has location-dependent polarization-rotating and/or phase-shifting effect and that at least partially compensates the double refraction effects in the image plane (5) generated by the at least one lens (42, 43).
2. Projection exposure system according to claim 1, characterized in that the material of at least one lens is a cubic fluoride crystal, especially  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{BaF}_2$  or  $\text{SrF}_2$ .
3. Projection exposure system according to claim 1 or claim 2, characterized in that the double refraction that is dependent on the passage angle and the location-dependent polarization-rotating and/or phase-shifting effect have the same multiple, especially triple or quadruple, rotation symmetry.
4. Projection exposure system according to at least one of claims 1-3, characterized in that the at least one lens consisting of the said material, which has a double refraction dependent on the passage angle, is arranged between the system aperture plane and the image plane, especially as an image-side last lens.
5. Projection exposure system according to at least one of claims 1-4, characterized in that the element with location-dependent phase-shifting effect is arranged close to the system aperture plane of the projection lens.

6. Projection exposure system according to at least one of claims 1-5, characterized in that the element with location-dependent phase-shifting effect is an optically active element, especially of quartz, or a double-refractive element with locally varying thickness.

7. Projection exposure system according to at least one of claims 1-6, characterized in that tangential or radial polarization is present in the image plane.

8. Projection exposure system according to claim 6 and claim 7, characterized in that in the exposure system or in the object-side part of the projection lens, radial polarization is generated and that, near the system aperture plane, an optically active element is arranged, especially of quartz, that causes a polarization rotation to the tangential polarization with superimposed compensation of the double refraction effects caused by the at least one lens, by using suitable local thickness distribution.

9. Optical system, especially microlithography projection lens with at least one first optical element that causes a polarization-dependent interference of the propagation by way of the angle of the light rays of a passing light beam, characterized in that

at least one second optical element is provided that causes an influence on the polarization that is dependent on the location of the light rays of the light beam at the second optical element, such that the interference by the first optical element is at least partially compensated.

10. Optical system according to claim 9, characterized in that it has at least one field plane and at least one pupil plane subject to a Fourier transform for this purpose and the first optical element is arranged near the said field plane and

the second optical element is arranged near the said pupil plane.

11. Optical system according to claim 9 or 10, characterized in that the interference on the propagation and the influence on the polarization have the same multiple, especially triple or quadruple, rotation symmetry.

12. Optical system especially microlithography projection lens with at least one first and one second optical element that both cause a polarization-dependent interference of the propagation by way of the angle of the light rays of a passing light beam, characterized in that the first and the second element are rotated with respect to a common axis of symmetry in such a way that the angle of rotation ranges of the maximum double refraction of the first and second element are offset with respect to each other.

13. Optical system according to claim 12, characterized in that, in addition, the characteristics of at least one of claims 9-11 are fulfilled.

14. Projection exposure system for microlithography containing an optical system according to at least one of the claims 9-13.

15. Manufacturing method for a microlithography projection lens, in which the lens is completely assembled and the wave front in the image plane is measured, characterized in that a multiple, especially triple or quadruple, rotation-symmetrical interference is evaluated and depending on that measurement, the thickness profile of an optical element, which especially is located close to the pupil, is modified with the same multiple rotation symmetry so that the multiple rotation symmetrical interference of the wave front in the image plane is at least partially compensated.

16. Manufacturing method according to claim 15, characterized in that the microlithography projection lens is an optical system according to at least one of claims 9-13 and/or a part of a projection exposure system according to at least one of claims 1-8 and 14.

17. Microlithographic structuring method, characterized by the use of a projection exposure system according to at least one of claims 1-8 and 14 or containing an optical system according to at least one of claims 9-13 or manufactured according to claim 15 or 16.

-----  
1 page of drawings follows  
-----

-Blank Page-

DRAWINGS PAGE 1

Number:

**DE 101 23 725 A1**

Int. Cl<sup>7</sup>:

**G 03 F 7/20**

Date of Publication:

November 21, 2002

[see source for drawing]